

*Космические аппараты и приборы*

плашками. Контроль резб. Нарезание резьб метчиками. Область применения и инструменты. Виды, причины брака при нарезании резьб плашками и метчиками.



По каждому виду обработки учебные мастера оценили результаты практической работы. Студентам были вручены сертификаты о приобретении студентом навыков и практического опыта выполнения слесарных работ и работ на металлорежущем оборудовании.

Студенты групп 1Б41 и 1Б42, прошедшие данную учебную практику показали в осеннем семестре 2015/16 учебного года свободу владения методами изготовления макетов своих творческих проектов. Следует отметить, что студенты успешно применили при реализации своего проекта аддитивные технологии, изготовив большинство деталей на 3-D принтерах из АВС-пластика. Этот метод в отличие от методов обработки путем снятия стружки позволяет быстро получить прототип сконструированной детали практически без отходов, что очень важно для реализации проектов в короткие сроки.

### **ЗАВИСИМОСТЬ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ МОМЕНТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЛЕНТОЧНОЙ НАМОТКОЙ ОТ ЧИСЛА ПАР ПОЛЮСОВ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ**

Долгих А.Г., Самодуров И.Н.

Научный руководитель: Мартемьянов В.М., доцент, к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [ivanovatonya@tpu.ru](mailto:ivanovatonya@tpu.ru)

### **TAPE WINDING TORQUE MOTOR POWER CONSUMPTION DEPENDENCE FROM THE MAGNETIC SYSTEM POLE'S PAIRS**

Dolgi A.G., Samodurov I.N.

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Martemyanov V.M.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [ivanovatonya@tpu.ru](mailto:ivanovatonya@tpu.ru)

*В статье рассмотрена связь потребляемой мощности и числа пар полюсов магнитной системы моментного двигателя с ленточной намоткой. Ленточная намотка представляет собой спирально намотанную электропроводящую ленту на немагнитную гильзу и является заменой традиционной обмотки. Применение ленточной намотки позволяет повысить удельные характеристики двигателя. Потребляемая моментным двигателем из сети мощность зависит от сопротивления пластин, из которых состоит ленточная намотка. Представлена зависимость величин сопротивления отдельных пластин от числа пар полюсов магнитной системы двигателя. Показано, что потребляемая мощность уменьшается с увеличением числа пар полюсов.*

*The paper presents the interaction between the power consumption and number of the magnetic system pole's pairs in the tape winding torque motor. The tape winding is a spirally wound electroconductive tape on the non-magnetic tubular base. The tape winding changes the conventional winding. The application of the tape winding allows increasing the specific characteristics of the motor. The power consumption of the torque motor depends on the plates resistance which consist the tape winding. The dependence of the separate plates resistance*

quantities from the motor magnetic system pole's pairs is described. It is shown that power consumption decreases with the increasing of the pole's pairs number.

Мощность, потребляемая катушкой моментного двигателя [1], определяется следующим образом

$$P = \frac{U^2}{R_{\text{нам}}} = \frac{U^2}{2 \cdot p \cdot N \cdot R} = \frac{U^2}{2 \cdot N \cdot (p \cdot R)}, \quad (1)$$

где:  $p$  – число пар полюсов магнитной системы;

$N$  – число слоев катушки;

$R$  – сопротивление единичной пластины.

В данном случае под величиной  $R$  предполагается сопротивление пластины, лежащей в среднем витке ленточной катушки.

Цель настоящей работы заключается в определении закономерности изменения потребляемой мощности от числа пар полюсов магнитной системы. Предполагаем, что геометрические размеры двигателя при изменении числа пар полюсов не меняются. Предварительно рассмотрим наиболее простую задачу, когда фактически распределенный ток, протекающий по пластинам катушки, представим в виде сосредоточенного тока, который протекает строго в диагональных направлениях (рис.1).

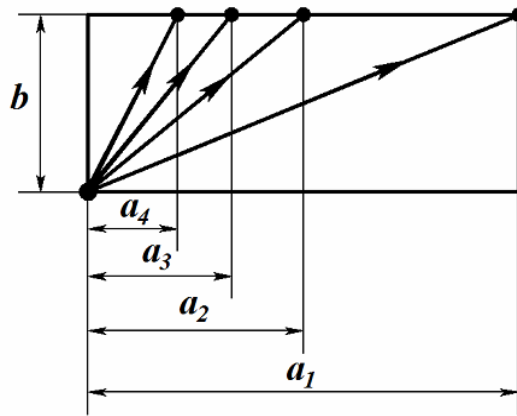


Рис. 1. Протекание сосредоточенного тока по пластинам разной длины

При таких условиях сопротивление току будет пропорционально длине диагонали пластины:

$$R_i = k \cdot \sqrt{a_i^2 + b^2} \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности;

$a_i$  – длина пластины при  $i = p$ ;

$b$  – ширина пластины.

Отметим, что ширина пластины  $b$  – ширина ленты, из которой выполнена катушка, имеет неизменную величину. Длина пластины в случае различного числа пар полюсов определится следующим образом

$$a_i = \frac{a_1}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_{cp}}{2 \cdot p} = \frac{\pi \cdot r_{cp}}{p}, \quad (3)$$

где:  $a_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_{cp}}{2} = \pi \cdot r_{cp}$  – длина пластины, лежащей в среднем витке катушки при условии того, что

магнитная система имеет одну пару полюсов  $p = 1$ ;

$r_{cp}$  – радиус центральной линии среднего витка катушки.

Подставим (3) в выражение (2)

$$R_i = k \cdot \sqrt{\left(\frac{\pi \cdot r_{cp}}{p}\right)^2 + b^2} = k \cdot \pi \cdot r_{cp} \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{p^2} + \left(\frac{b}{\pi \cdot r_{cp}}\right)^2\right]} = R_1 \cdot \frac{\sqrt{\frac{1}{p^2} + \left(\frac{b}{\pi \cdot r_{cp}}\right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{b}{\pi \cdot r_{cp}}\right)^2}}. \quad (4)$$

В данном случае  $R_1$  – сопротивление пластины при  $p = 1$ .

Зададим некоторую исходную величину, связанную с геометрией двигателя  $\frac{b}{\pi \cdot r_{cp}} = 0,4$ . При этом

условии получим соотношения величин сопротивлений для различного числа пар полюсов

$$\begin{aligned} p = 2 & \quad R_2 = 0,57 \cdot R_1; \\ p = 3 & \quad R_3 = 0,465 \cdot R_1; \\ p = 4 & \quad R_4 = 0,422 \cdot R_1. \end{aligned}$$

Указанные выше выкладки относятся к условию, что ток протекает только в области, совпадающей с диагональю пластины. Однако в реальной ситуации по пластине протекает распределенный ток, часть которого течет по диагонали, а остальные – по линиям, которые можно представить как проводники при параллельном включении. Сопротивление протеканию тока в этом случае можно определить численными методами, в частности использованием программного продукта COMSOL Multiphysics. В качестве примера для расчета была задана медная пластина толщиной  $1 \cdot 10^{-4}$  м, шириной  $5 \cdot 10^{-2}$  м, начальной длины 0,12 м.

К электродам в диагонально расположенных углах пластины прикладывалось напряжение 0,001 В; на торцевых поверхностях электродов определялся ток, вызванный приложенным напряжением. Увеличенная длина электродов, как показано на рис. 2, принята в связи с тем, что среди опций COMSOL версии 3.5 имеется возможность интегрирования только нормальной компоненты тока, что при малой длине электрода приводит к искажению результатов, так как токовые линии начинают искривляться перед входом в пластину. В дальнейшем, из полного сопротивления, определяемого по закону Ома, вычитаются сопротивления электродов, сложности в получении значений которых нет.

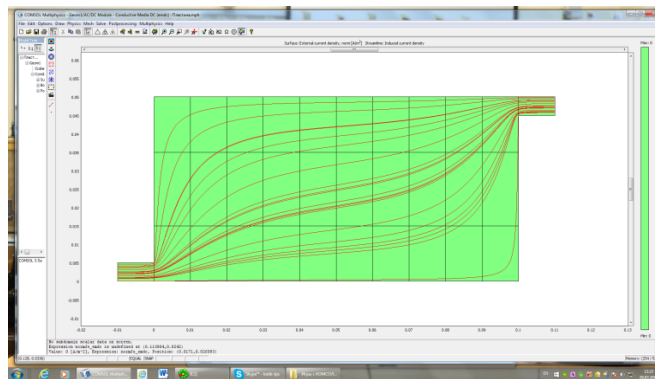


Рис. 2. Характер протекания распределенного тока по пластине

Результаты численного эксперимента показали следующее:

$$\begin{aligned} R_1 &= 8,26 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}; \\ R_2 &= 6,14 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}, \quad R_2 = 0,743 \cdot R_1; \\ R_3 &= 5,76 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}, \quad R_3 = 0,697 \cdot R_1; \\ R_4 &= 5,92 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}, \quad R_4 = 0,717 \cdot R_1; \\ R_6 &= 6,26 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}, \quad R_6 = 0,758 \cdot R_1. \end{aligned}$$

Сравнивая полученные результаты с аналогичными для случая, когда ток считался сосредоточенным в диагональном направлении, можно сделать вывод, что изменение (уменьшение) сопротивления пластины в реальной ситуации, когда ток распределен, происходит в меньшей степени.

Если обратиться к выражению (1), заметим, что величина потребляемой мощности обратно пропорциональна величине произведения ( $pR$ ). Так, если считать, что  $p=1$ , потребляемая двигателем мощность равна

$$P_1 = \frac{U^2}{2 \cdot N \cdot R_1},$$

то тогда при  $p = 2$

$$P_2 = \frac{U^2}{2 \cdot N \cdot 2 \cdot 0,743 \cdot R_1}.$$

Другими словами, уменьшение потребляемой мощности при  $p=2$  происходит в 1,486 раз. Аналогично, при  $p=3$  потребляемая мощность уменьшится в  $3 \cdot 0,697 = 2,091$  раз, при  $p=4$  в 2,868 раз и т.д.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что увеличение числа пар полюсов магнитной системы существенно снижает потребляемую двигателем мощность. Однако при этом необходимо учесть, что значительно уменьшается и рабочий угловой диапазон моментного двигателя, определяемый как  $\varphi_{\text{раб}} = \frac{\pi}{p} - \alpha$ , где  $\alpha$  – угловой размер полюса магнитной цепи. Указанный недостаток может быть исключен, если данный двигатель реализовать как вентильный.

Уменьшение потребляемой мощности происходит за счет увеличения полного сопротивления катушки, поэтому будет уменьшаться и ток, протекающий по последней. Это должно привести к изменению момента, развиваемого двигателем; при этом однако необходимо учитывать, что увеличивается число сил каждого полюса, создающих момент; изменяется характер протекания распределенного тока по пластине, приводящего к изменению поперечных компонент токовых линий [2, 3].

Полученные в работе результаты дают основу и предпосылки для определения параметров моментного двигателя, обеспечивающих оптимальные величины удельных характеристик последнего.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моментный двигатель [Текст]: пат. 2441310 Рос. Федерация: МПК H02 K 26/00 Мартемьянов В.М., Долгих (Иванова) А.Г.; заявл. 20.08.2010; опубл. 27.01.2012, Бюл. №3. – 6 с.: ил.
2. Долгих (Иванова) А.Г., Мартемьянов В.М., Плотникова И.В. Влияние геометрии пластины на силовую характеристику двигателя с активным пакетным элементом // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. № 4. С. 22-26.
3. Долгих (Иванова) А.Г., Мартемьянов В.М., Стахеева О.Ю. Влияние размеров электрода ленточной катушки на характеристики моментного двигателя // Контроль. Диагностика. – 2014. № 13. – С. 26-28.